Acerca de los *Issues in Ecology* (*Tópicos en Ecología*)

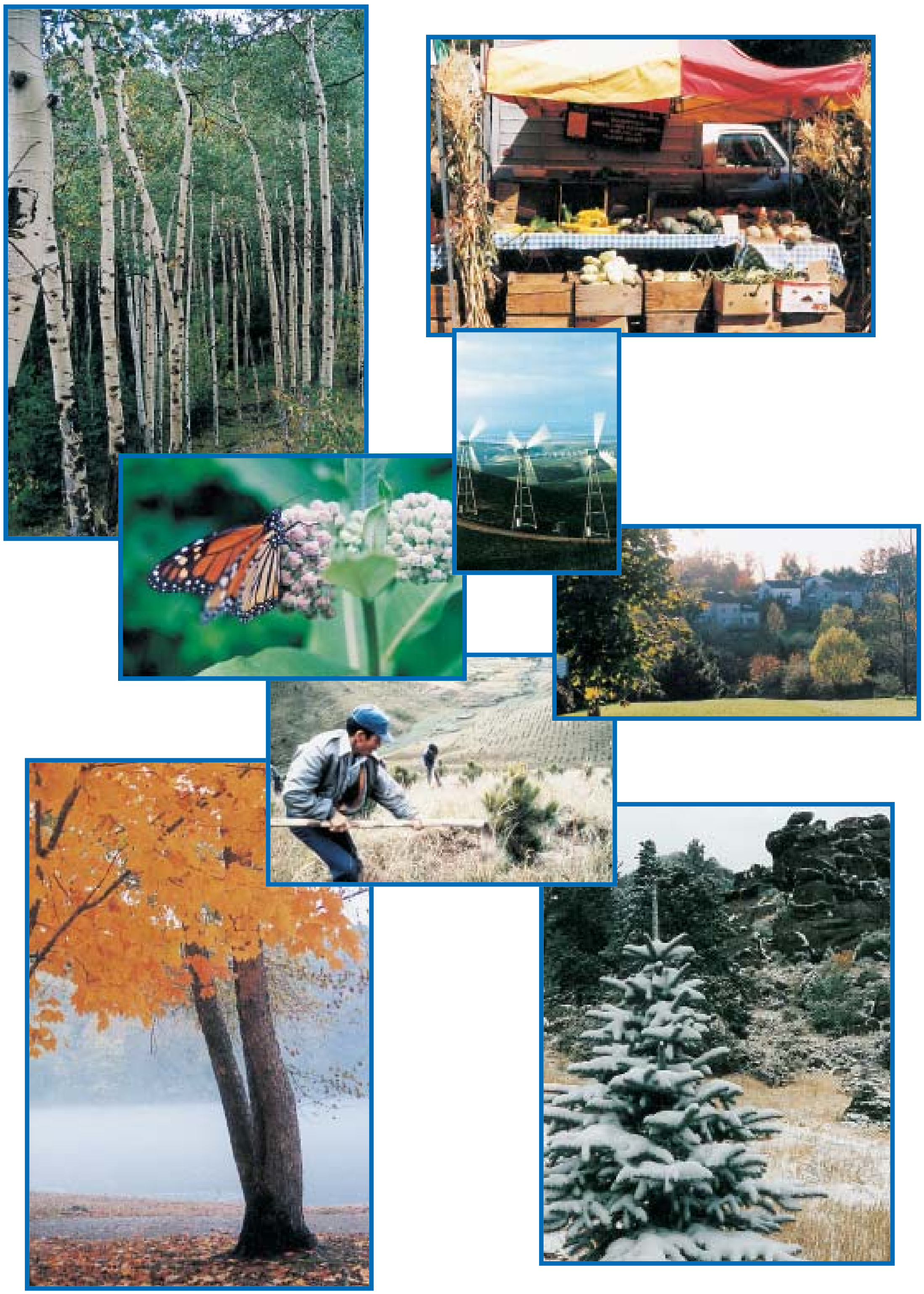
Los *Issues in Ecology* se diseñaron para comunicar, en un lenguaje comprensible para un público no científico, el consenso de un panel de científicos expertos en temas relevantes para el medio ambiente. Los *Issues in Ecology* son financiados por el programa "Pew Scholars in Conservation Biology" y por la *Ecological Society of America* – ESA - (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Se publican a intervalos irregulares, en la medida en que los informes se completan. Todos los informes se someten al sistema de "revisión por pares" (otros expertos) y deben ser aprobados por el Comité Editorial antes de su publicación. Los editores y la editorial, la *Ecological Society of America*, no se hacen responsables de las opiniones vertidas por los autores en las publicaciones de la ESA.

Los *Issues in Ecology* son una publicación oficial de la *Ecological Society of America* (la Sociedad Norteamericana de Ecología), la principal sociedad nacional de ecólogos profesionales. Fundada en 1915, la ESA tiene como meta promover la aplicación responsable de los principios ecológicos a la solución de los problemas ambientales. Para obtener más información, comunicarse con la Ecological Society of America, 1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC, 20006. ISSN 1092-8987

Tópicos en Ecología

Número 2, Primavera 1997

Servicios de los Ecosistemas: Beneficios que la Sociedad Recibe de los Ecosistemas Naturales



Traducción al español de *Issues in Ecology*

Publicado por la *Ecological Society of America* (la Sociedad Norteamericana de Ecología)

Servicios de los Ecosistemas: Beneficios que la Sociedad Recibe de los Ecosistemas Naturales

TITULO ORIGINAL:
Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosytems

RESUMEN

La sociedad humana obtiene muchos *bienes* esenciales de los ecosistemas naturales, incluyendo pescados y otros frutos del mar, animales silvestres, forraje, madera, combustible y productos farmacéuticos. Estos bienes representan partes importantes y familiares de la economía. Lo que ha sido menos apreciado hasta hace poco tiempo es que los ecosistemas naturales también realizan *servicios* fundamentales que mantienen la vida, sin los cuales las civilizaciones humanas dejarían de prosperar. Estos servicios incluyen la purificación del aire y del agua, la descomposición y detoxificación de los residuos, la regulación del clima, la regeneración de la fertilidad del suelo, y la producción y el mantenimiento de la biodiversidad—de la que a su vez se derivan ingredientes claves de nuestras actividades agrícolas, farmacéuticas e industriales. Esta variedad de servicios es generada por interacciones complejas de ciclos naturales impulsados por la energía solar y que operan a través de un amplio rango de escalas espaciales y temporales. El proceso de eliminación de residuos, por ejemplo, involucra los ciclos de vida de las bacterias así como los ciclos de escala planetaria de los principales elementos químicos, tales como el carbono y el nitrógeno. El valor monetario de estos procesos ha sido estimado en varios billones de dólares anuales (U$S 10^{12}). Sin embargo, dado que la mayoría de esos beneficios no se cotizan en el mercado, no tienen un precio que pueda alertar a la sociedad sobre cambios en su abastecimiento o sobre el deterioro de los sistemas ecológicos subyacentes que los generan. Dado que las amenazas a estos sistemas están aumentando, resulta crítico identificar y monitorear los servicios de los ecosistemas tanto local como globalmente, e incorporar su valor en los procesos de toma de decisiones.

Históricamente, la naturaleza y el valor de los sistemas que mantienen la vida en la Tierra fueron ignorados, hasta que su alteración o su pérdida hicieron evidente su importancia. Por ejemplo, la deforestación reveló tardíamente la función crítica que cumplen los bosques como reguladores del ciclo del agua –mitigando las inundaciones, las sequías, las fuerzas erosivas del viento y la lluvia, y retrasando la obstrucción con sedimentos de los diques y canales de irrigación. Hoy en día, la escalada de impactos de las actividades humanas sobre los bosques, los humedales y otros ecosistemas naturales pone en peligro la prestación de esos servicios. Las principales amenazas son los cambios en el uso de la tierra que causan pérdidas en la biodiversidad así como alteración de los ciclos de carbono, nitrógeno y otros ciclos biogeoquímicos; invasiones de especies exóticas mediadas por el ser humano; vertido de sustancias tóxicas; posible cambio climático rápido y reducción drástica del ozono estratosférico.

Basados en la evidencia científica disponible estamos seguros que:

- Los servicios de los ecosistemas son esenciales para la civilización.
- Los servicios de los ecosistemas operan a una escala tan grande y de un modo tan intrincado y poco explorado que la mayoría de ellos no podría ser reemplazado tecnológicamente.
- Las actividades humanas ya están dañando a gran escala el flujo de los servicios de los ecosistemas.
- Si las tendencias actuales continúan, la humanidad alterará en forma drástica virtualmente todos los ecosistemas naturales que todavía quedan en la Tierra, dentro de unas pocas décadas.

Además, basándonos en evidencias científicas actualizadas, estamos convencidos de que:

- Muchas de las actividades humanas que modifican o destruyen los ecosistemas naturales pueden causar deterioro de los servicios ecológicos cuyo valor, en el largo plazo, supera los beneficios económicos a corto plazo que la sociedad obtiene con estas actividades.
- Para mantener los servicios de los ecosistemas del planeta se requiere un número enorme de especies y poblaciones.
- Si se tomaran acciones apropiadas a tiempo, todavía se podría restaurar el funcionamiento de muchos ecosistemas.

Creemos que las políticas de desarrollo y la planificación del uso de la tierra deberían esforzarse por buscar un equilibrio entre mantener los servicios de los ecosistemas vitales y perseguir los muy deseables objetivos de desarrollo económico a corto plazo.

Servicios de los Ecosistemas: Beneficios que la Sociedad Recibe de los Ecosistemas Naturales

por
Gretchen C. Daily, Susan Alexander, Paul R. Ehrlich,
Larry Goulder, Jane Lubchenco, Pamela A. Matson, Harold A. Mooney,
Sandra Postel, Stephen H. Schneider, David Tilman, y George M. Woodwell

INTRODUCCIÓN

Muchas de las sociedades humanas tienen hoy capacidades tecnológicas inimaginables siglos atrás. Sus ciudadanos tienen tal control global sobre los recursos que incluso el transporte aéreo de comida fresca a cualquier parte del planeta es considerado como lo más natural del mundo. Así, nuestra dieta diaria está mucho menos influenciada por las limitaciones regionales que en el pasado imponían las estaciones del año y la calidad de los suelos. La disponibilidad de estas fuentes exóticas de abastecimiento y otros frutos de la ingeniería humana han hecho que se pierda de vista lo esencial que resulta el sostén biológico local para la prosperidad económica y para otros aspectos de nuestro bienestar.

Estas bases biológicas están englobadas en la expresión "*servicios de los ecosistemas*", que se refiere a un amplio rango de condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, ayudan a mantener y satisfacer la vida humana. Estos servicios mantienen la biodiversidad y la producción de bienes de los ecosistemas, tales como pescado y otros frutos del mar, animales salvajes, forraje, madera, biomasa combustible, fibras naturales y muchos productos farmacéuticos e industriales y sus precursores. La cosecha y comercialización de estos bienes representa una parte importante y familiar de la economía humana. Sumado a la producción de bienes, los servicios de los ecosistemas mantienen la vida a través de (Holdren y Ehrlich 1974; Ehrlich y Ehrlich 1981):

- la purificación del aire y del agua
- la mitigación de sequías e inundaciones
- la generación y preservación de los suelos y renovación de su fertilidad
- la detoxificación y descomposición de los residuos
- la polinización de los cultivos y de la vegetación natural
- la dispersión de semillas
- el reciclado y movimiento de nutrientes
- el control de la amplia mayoría de las plagas potenciales de la agricultura
- el mantenimiento de la biodiversidad
- la protección de las líneas de costas de la erosión de las olas
- la protección de los rayos solares ultravioletas perjudiciales
- la estabilización parcial del clima
- la moderación de los eventos atmosféricos extremos y sus impactos y
- la provisión de belleza estética y estímulo intelectual que exalta el espíritu humano

A pesar de que la distinción entre ecosistemas "naturales" y "dominados por el hombre" se está haciendo cada vez más borrosa, nosotros ponemos el énfasis en el extremo natural del espectro por tres razones relacionadas. Primero, los servicios que provienen de los ecosistemas naturales están ampliamente subestimados por la sociedad. La mayor parte de ellos no se comercializa en el mercado formal y por lo tanto no tiene un precio que funcione como una señal que



Fotografía de J. Robert Stottlemeyer/Biological Photo Service

Figura 1–Bosque de álamos temblones (*Populus tremuloides*) en Colorado, filtrando y purificando el aire y el agua.


Fotografía de Taylor Ricketts

Figura 2--Mujer transportando un tronco para construir un bote en un pueblo pesquero en la isla de Chiloé, en Chile. Los bosques naturales son una fuente importante de madera para construcción, combustible y otros usos.

alerte sobre los cambios en su disponibilidad o condición. Más aún, pocas personas son concientes del papel que los servicios de los ecosistemas desempeñan en generar los bienes naturales que se comercializan en el mercado. Esta falta de conocimiento ayuda a impulsar la conversión de ecosistemas naturales en sistemas dominados por el ser humano (por ejemplo: humedales o campos de palmera de aceite), cuyo valor económico puede ser expresado, al menos en parte, en moneda corriente. La segunda razón para centrarnos en ecosistemas naturales es que muchas de las alteraciones iniciadas por el ser humano en estos sistemas — tales como la introducción de especies exóticas, la extinción de especies nativas y la alteración de la composición gaseosa de la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles — son difíciles o imposibles de revertir en cualquier escala de tiempo relevante para la sociedad. Tercero, si no aumenta la toma de conciencia y las tendencias actuales continúan, la humanidad alterará dramáticamente los ecosistemas naturales que todavía quedan en la Tierra dentro de unas pocas décadas (Daily 1997a, b).

La falta de atención al papel vital de los servicios de los ecosistemas naturales es fácil de entender. Cuando surgió la humanidad, la mayoría de los servicios de los ecosistemas habían estado ya en funcionamiento durante cientos a miles de millones de años. Estos servicios son tan fundamentales para la vida que su presencia es fácil de pasar por alto, y tan grandes en escala que es difícil imaginar que las actividades humanas puedan alterarlos de un modo irreparable. Tal vez el mejor modo de ilustrar la importancia y la complejidad de los servicios de los ecosistemas sea a través de un experimento mental en el que se eliminen estos servicios y tratemos de pensar cómo haríamos para recrearlos. Imaginemos, por ejemplo, seres humanos tratando de colonizar la Luna. Supongamos que la Luna ya ha adquirido milagrosamente algunas de las condiciones básicas que mantienen la vida humana, tales como una atmósfera, un clima y una estructura física del suelo similar a los que hay en la Tierra. La gran pregunta que se tendrían que hacer los colonos humanos sería ¿cuáles de las millones de especies que hay en la Tierra habrá que transportar a la Luna para hacer habitable esa superficie estéril?

Uno podría abordar esta pregunta sistemáticamente eligiendo primero entre todas las especies explotadas en forma directa para alimento, bebida, especias, fibra, madera, productos farmacéuticos y productos industriales tales como ceras, gomas y aceites. Incluso si uno fuese altamente selectivo, la lista podría llegar a cientos o incluso miles de especies. Y eso sería sólo el comienzo, dado que uno va a tener que considerar después qué especies son cruciales para mantener aquellas que se usan directamente: las bacterias, hongos e invertebrados que ayudan a hacer fértil el suelo y descomponen residuos y materia orgánica; los insectos, murciélagos y aves que polinizan las flores; y los pastos, hierbas y árboles que mantienen el suelo en su lugar, regulan el ciclo del agua y abastecen de alimento a los animales. El mensaje claro de este ejercicio es que nadie conoce qué combinaciónes de especies — ni siquiera aproximadamente cuántas- son necesarias para mantener la vida humana.

Más que seleccionar especies directamente, uno podría intentar otra aproximación: hacer una lista de los servicios de los ecosistemas que necesitaría una colonia lunar y luego pensar en los tipos y números de especies necesarios para llevar a cabo cada servicio. Sin embargo, determinar qué especies son críticas para el funcionamiento de un servicio del ecosistema particular no es una tarea sencilla. Tomemos la fertilidad del suelo como un ejemplo. Los organismos del suelo son cruciales para la conversión química y la transferencia física de los nutrientes esenciales para las plantas superiores. Pero la abundancia de los organismos del suelo es absolutamente asombrosa. Bajo un metro cuadrado de pasto en Dinamarca, por ejemplo, el suelo está habitado por aproximadamente 50.000 gusanos de tierra y pequeños organismos emparentados, 50.000 insectos y ácaros y cerca de 12 millones de nematodes. Y esta lista es sólo el comienzo, ya que el número de animales del suelo es pequeño en comparación con el número de microorganismos Una pizca de suelo fértil puede contener alrededor de 30 mil protozoos, 50.000 algas, 400.000 hongos y miles de millones de bacterias (Overgaard-Nielsen 1955; Rouatt y Katznelson 1961; Chanway 1993) ¿Cuáles deberían llevar los colonizadores a la luna para asegurar el crecimiento de las plantas, la renovación del suelo y la eliminación de los residuos? La mayoría de estas especies que habitan en el suelo nunca estuvo sujeta ni siquiera a una

inspección rápida: ningún ojo humano las ha mirado jamás a través de un microscopio, ningún ser humano las ha clasificado jamás con un nombre o una descripción y la mayoría de las mentes humanas no se ha tomado ni siquiera un minuto en reflexionar sobre ellas. Más aún, el hecho más sensato, como dijera E. O. Wilson es: ellas no nos necesitan, pero nosotros sí las necesitamos (Wilson 1987).

ATRIBUTOS DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

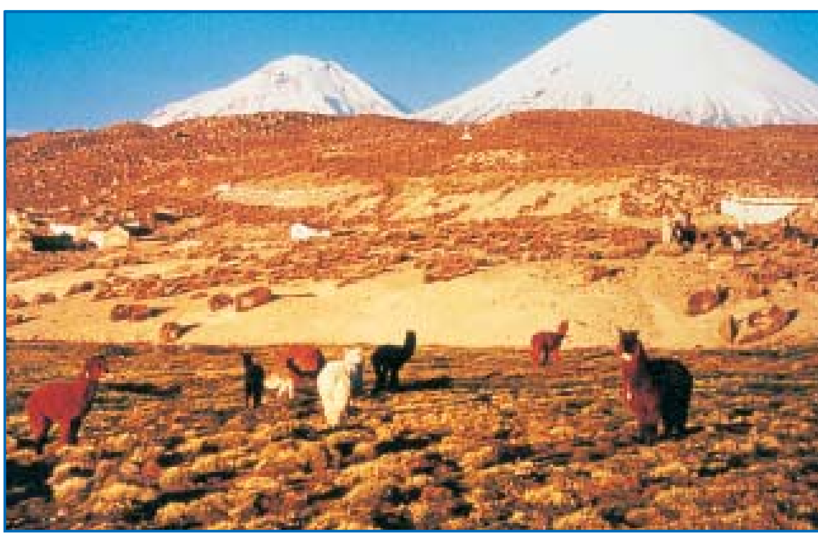
Poniendo nuestra atención de nuevo en la Tierra, miremos más de cerca los servicios que realiza la naturaleza en el único planeta que sabemos que es habitable. Los servicios de los ecosistemas y los sistemas que los proveen están tan interconectados que cualquier clasificación de los mismos es necesariamente algo arbitraria. En lo que sigue exploramos brevemente una serie de servicios globales que operan en los ecosistemas de todo el mundo.

Producción de Bienes

La humanidad obtiene de la naturaleza una amplia variedad de bienes—es decir organismos y sus partes y productos que crecen de modo silvestre y que se usan directamente para beneficio humano. Muchos de ellos, tales como los productos de animales y peces, se comercializan comúnmente en el mercado. La pesca anual, por ejemplo, asciende a 100 millones de toneladas métricas y está valorada entre U$S 50 mil millones y U$S 100 mil millones. Es la principal fuente de proteína animal: alrededor del 20% de la población en África y Asia dependen del pescado como su fuente principal de proteínas (FAO 1993). La cosecha comercial de peces de agua dulce en todo el mundo alcanzó los 14 millones de toneladas en 1990 y fue valorada en U$S 8.200 millones (FAO 1994). Sorprendentemente, el valor de la pesca deportiva en agua dulce en USA solamente excede ampliamente la cosecha comercial global, con gastos directos que en 1991 totalizaron cerca de U$S 16.000 millones. Cuando esto se agrega al valor del empleo generado por las actividades de la pesca deportiva, se eleva a un total de U$S 46.000 millones (Felder y Nickum 1992, citado en Postel y Carpenter 1997). El futuro de la actividad pesquera es, sin embargo, incierto porque las capturas se acercaron mucho, o incluso excedieron, los niveles sustentables virtualmente en todos lados. Nueve de las principales áreas de pesca marina mundiales están en disminución a causa del exceso de pesca, la contaminación y la destrucción del hábitat (FAO 1993; Kaufman y Dayton 1997).

Llevando nuestra atención a lo que sucede en la superficie terrestre, los pastizales son una fuente importante de bienes de mercado, incluyendo animales usados para laboreo (caballos, mulas, asnos, camellos, bueyes, etc.) y aquellos cuyas partes o productos se consumen (como carne, leche, lana y cuero). Los pastizales también fueron importantes como hábitat de procedencia original de la mayoría de los animales domésticos como vacas, cabras, ovejas y caballos, así como muchos cultivos, tales como el maíz, la cebada, el centeno, la avena y otros pastos (Sala y Paruelo 1997). En una amplia variedad de hábitats terrestres, la gente caza animales silvestres tales como aves acuáticas, ciervos, alces, zorros, jabalíes y otros chanchos salvajes, conejos e incluso víboras y monos. En muchos países, la carne de estos animales representa una parte importante de la dieta local y, en muchos lugares, la caza es un deporte importante, tanto cultural como económicamente.

Los ecosistemas naturales también producen vegetación que los humanos usamos directamente como alimento, madera, combustible, fibra y productos farmacéuticos e industriales. Frutos, nueces, hongos, miel y otros alimentos y especias se extraen de muchas especies del bosque. La madera, paja y otros materiales vegetales se usan en la construcción de las casas y otras edificaciones así como para la construcción de muebles, implementos para la agricultura, papel, vestimenta, sogas, etc. Cerca del 15% de la energía que se consume en el mundo la proporcionan las maderas combustibles y otras partes de las plantas; en los países en vías de desarrollo, esa "biomasa" suministra cerca del 40% de la energía consumida (Hall y colab. 1993), si bien la proporción de ésta que proviene de ecosistemas naturales, más que de ecosistemas modificados por el ser



Fotografía de Taylor Ricketts

Figura 3--Alpaca pastoreando en el Altiplano chileno. Los pastizales son una fuente importante de productos animales; además, son el hábitat original de la mayor parte de los animales domésticos y de muchos cultivos, tales como el trigo, la cebada y la avena.

humano, no está documentada. Además, hay productos naturales que se extraen de muchos centenares de especies que proporcionan insumos diversos para la industria: gomas y exudados, aceites esenciales y para condimento, resinas y oleorresinas, colorantes, taninos, grasas y ceras vegetales, insecticidas y un sinnúmero de otros compuestos (Myers 1983; Leung y Foster 1996). La disponibilidad de la mayoría de estos productos naturales está disminuyendo debido a la continua conversión de los habitats de los que provienen.

Generación y Mantenimiento de la Biodiversidad

La diversidad biológica o, más brevemente, biodiversidad, se refiere a la variedad de formas de vida, a todos los niveles de organización, desde el molecular hasta el de paisaje. La biodiversidad es generada y mantenida en los ecosistemas naturales, donde los organismos encuentran una amplia variedad de condiciones que modelan su evolución de un modo singular. Por conveniencia o por necesidad, la biodiversidad se cuantifica generalmente en términos del número de especies, y este aspecto ha influido muchísimo en los objetivos de conservación. Es importante recordar, sin embargo, que los beneficios que le proporciona a la humanidad la biodiversidad se realizan a través de poblaciones de especies que residen en comunidades vivientes dentro de un medio físico específico — en otras palabras, a través de sistemas ecológicos complejos, o ecosistemas (Daily y Ehrlich 1995). Para que los seres humanos se den cuenta de la mayoría de los beneficios estéticos, espirituales y económicos de la biodiversidad, los ecosistemas naturales deben ser accesibles. La conservación de una especie de pino en un lugar del mundo no evitará que, en otro lugar, los habitantes de una ciudad sufran una inundación causada por la tala de un bosque aguas arriba. Generalmente el flujo de bienes y servicios de los ecosistemas en una región está determinado por el tipo, la disposición espacial, la extensión y la proximidad de los ecosistemas que los proveen. A causa de esto, la preservación en zoológicos, jardines botánicos y áreas legalmente protegidas del mundo de una única población mínima viable de cada una de las especies no humanas de la Tierra, no es suficiente para sustentar la vida tal como la conocemos. Por cierto, tal estrategia, tomada en forma extrema, podría llevar al colapso de la biosfera, junto con los servicios que mantienen la vida.

Como fue descripto en la sección anterior, la biodiversidad es una fuente directa de bienes del ecosistema. También provee los recursos genéticos y bioquímicos que sustentan nuestras actividades agrícolas y farmacéuticas actuales, y pueden permitirnos adaptar estas actividades vitales para nuestra supervivencia al cambio global. Nuestra habilidad para aumentar la productividad de los cultivos frente a nuevas plagas, enfermedades y otros factores de estrés, ha dependido fuertemente de la transferencia a nuestros cultivos de genes de especies silvestres emparentadas que les confieren resistencias para estos desafíos. Tales extracciones de la "biblioteca genética" de la biodiversidad dan cuenta del incremento anual en la productividad de los cultivos de cerca del 1 por ciento, valorado en U$S 1.000 millones (NRC 1992). La biotecnología hace posible ahora un uso incluso mayor de la reserva natural de diversidad genética a través de la transferencia a los cultivos de genes provenientes de cualquier tipo de organismo — no solamente de especies emparentadas — y promete jugar un papel principal en el aumento de los rendimientos futuros. Se estima que el valor actual en el campo de los productos de la biotecnología agrícola, muchos de los cuales no existían en el mercado hace unos pocos años, es de U$S 10.000 millones por año (World Bank 1991, citado en Reid y colab. 1996).

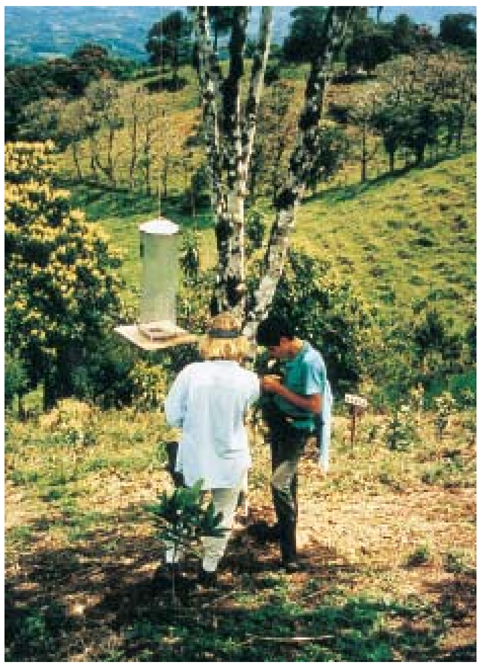

Fotografía de Taylor Ricketts

Figura 4--Caza de ballenas con arpones en Flores, Indonesia. Los océanos son una fuente clave de proteína animal para la población humana.

Además de mantener la producción de cultivos convencionales, la biodiversidad en los ecosistemas naturales puede incluir muchos alimentos nuevos. Los seres humanos han utilizado alrededor de 7.000 especies de plantas para alimento a lo largo de la historia, y se sabe que otras 70.000 poseen partes comestibles (Wilson 1989). Sin embargo, sólo cerca de 150 especies comestibles fueron cultivadas a gran escala permanentemente. Actualmente, 82 especies vegetales contribuyen al 90% de la provisión nacional per cápita de plantas alimenticias (Prescott-Allen y Prescott-Allen 1990), a pesar de que un número mucho menor de éstas abastecen el grueso de las calorías que los seres humanos consumimos. Muchas otras especies, sin embargo, podrían ser mucho más nutritivas o más adecuadas a las condiciones de crecimiento que prevalecen en importantes regiones del mundo que los cultivos que hoy dominan la provisión de comida del mundo. Debido al incremento en la salinización de las áreas cultivadas bajo riego y al potencial cambio climático rápido, la seguridad alimenticia futura puede llegar a depender de variedades tolerantes a la sequía y a la salinidad, las que actualmente juegan un papel comparativamente menor en la agricultura.

Pasando a los recursos medicinales, un relevamiento reciente mostró que de las 150 drogas de venta bajo receta más vendidas en los Estados Unidos, 118 están basadas en fuentes naturales: 74% en plantas, 18% en hongos, 5% en bacterias y 3% en una especie animal (víbora). Nueve de las diez drogas más vendidas están basadas en productos naturales de plantas (Grifo y Rosenthal, en prensa, citado en Dobson 1995). El valor comercial de los productos farmacéuticos en los países en desarrollo excede los U$S 40.000 millones por año (Principe 1989). Considerando todo el planeta, aproximadamente el 80% de la población humana depende de la medicina tradicional, el 85% de la cual involucra el uso de extractos de plantas (Farnsworth y colab. 1985).

Salvar solamente una única población de cada especie, podría tener otro costo. Diferentes poblaciones de la misma especie pueden producir diferentes tipos o cantidades de sustancias químicas de defensa que tienen usos potenciales como farmacéuticos o pesticidas (McCormick y colab. 1993), y pueden exhibir tolerancias distintas a los factores de estrés ambiental tales como sequía o salinidad del suelo. Por ejemplo, el desarrollo de la penicilina como un antibiótico terapéutico llevó un total de 15 años después del famoso descubrimiento de Alexander Fleming de ésta en el moho común del pan (un hongo del género *Penicillum*). En parte, esto fue debido a que los científicos tuvieron gran dificultad en producir, extraer y purificar la sustancia en la cantidad necesaria. Una clave para obtener tales cantidades fue el descubrimiento, después de una investigación mundial, de una población de *Penicillum* que producía más penicilina que la original (Dowling 1977). Del mismo modo, las poblaciones de plantas varían en su habilidad para resistir plagas y enfermedades, características importantes para su cultivo. Varios miles de variedades de arroz de diferentes localidades tuvieron que ser estudiadas hasta encontrar una que resistiera el virus del enanismo que representaba una amenaza seria al cultivo de arroz en el mundo (Myers 1983). A pesar de numerosos ejemplos como éste, muchos habitats que albergan especies silvestres emparentadas con los cultivos permanecen desprotegidos y seriamente amenazados.



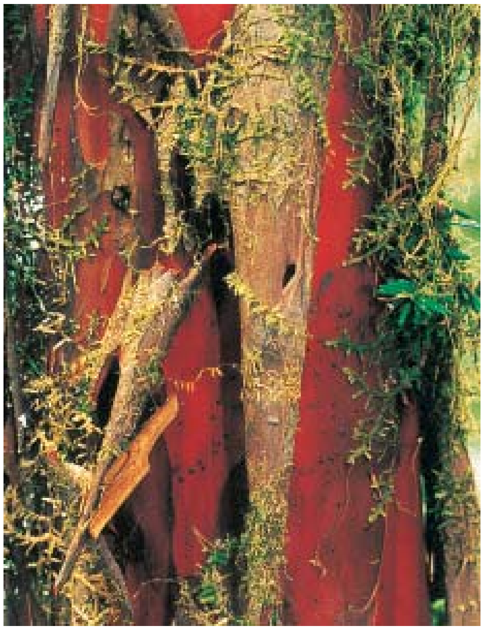
Fotografía de Paul R. Ehrlich

Figura 5--Captura y suelta de mariposas en un paisaje agrícola mixto en Costa Rica. Es necesario monitorear el impacto de las actividades humanas sobre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en todo el mundo; las mariposas pueden ser indicadores útiles para monitorear.

El Clima y la Vida

El clima de la Tierra ha fluctuado tremendamente desde el surgimiento de la humanidad. Por ejemplo, durante el apogeo de la última edad de hielo, hace 20.000 años, gran parte de Europa y Norteamérica estuvo cubierta por una capa de hielo de un kilómetro de espesor. Mientras que el clima global se mantuvo relativamente estable desde la invención de la agricultura, alrededor de 10.000 años atrás, las actividades humanas y los movimientos migratorios fueron afectados por cambios periódicos en el clima. Incluso hace relativamente poco, entre 1550 y 1850, Europa fue significativamente más fría durante un período conocido como la Pequeña Edad del Hielo. Se piensa que muchos de estos cambios en el clima son causados por alteraciones en la órbita de rotación de la Tierra o en el flujo de energía del sol, o incluso por eventos que ocurren sobre la Tierra misma –perturbaciones repentinas como erupciones volcánicas violentas e impactos de asteroides o eventos tectónicos más graduales como el levantamiento del Himalaya. Así y todo, las variaciones climáticas han sido lo suficientemente amortiguadas a través de todos estos cambios para mantener la vida durante por lo menos 3.500 millones de años (Schneider y Londer 1984). Y la vida en sí misma ha jugado un papel en este amortiguamiento.

El clima, por supuesto, juega el papel más importante en la evolución y distribución de la vida sobre el planeta. Aun así, la mayoría de los científicos coincide en que la vida en sí misma es el principal factor de regulación del clima global, ayudando a neutralizar los efectos de las oscilaciones climáticas episódicas y alterando la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera. Por ejemplo, los ecosistemas naturales pueden haber ayudado a estabilizar el clima y prevenir el sobrecalentamiento de la Tierra, eliminando más gas dióxido de carbono con efecto invernadero a la atmósfera a medida que la radiación solar crecía a través de millones de años (Alexander y colab. 1997). La vida también puede ejercer un efecto desestabilizante (retroalimentación positiva) que refuerce el cambio climático, particularmente durante las transiciones entre las edades de hielo y los períodos interglaciares. Un ejemplo: cuando el enfriamiento climático lleva a una disminución en el nivel del mar, los bordes continentales quedan expuestos al viento y a la lluvia causando mayor escurrimiento de nutrientes hacia los océanos. Estos nutrientes pueden fertilizar el crecimiento del fitoplancton, muchos de los cuales forman conchas de carbonato de calcio. Estos organismos, incrementando su población, podrían remover más dióxido de carbono desde los océanos y desde la atmósfera, un mecanismo que enfriaría



Fotografía de Michael Graybill & Jan Hodder/ Biological Photo Service

Figura 6-Corteza de árbol de tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*), fuente de una nueva droga anticancerígena, el taxol; Willamette National Forest, Oregon.

más aún el planeta. Los seres vivos también pueden aumentar la tendencia del calentamiento a través de actividades como acelerar la descomposición microbiana de la materia orgánica muerta, liberando así dióxido de carbono a la atmósfera (Schneider y Boston 1991; Allegre y Schneider 1994). La importancia relativa de los mecanismos biológicos de retroalimentación estabilizante y desestabilizante es aún desconocida; lo que está claro es que el clima y los ecosistemas naturales están fuertemente relacionados, y que la estabilidad de este sistema interconectado es en sí un servicio importante de los ecosistemas.

Además de su impacto sobre la atmósfera, los ecosistemas también ejercen una influencia física directa que ayuda a moderar el clima regional y local. Por ejemplo, la transpiración (liberación de vapor de agua desde las hojas) de las plantas a la mañana causa tormentas por la tarde, limitando así la pérdida de humedad desde la región y el aumento de la temperatura en la superficie. En la Amazonia, por ejemplo, el 50% de la precipitación media anual es reciclada por la selva misma a través de la evapotranspiración — es decir, la suma de la evaporación desde las superficies húmedas y el suelo y la transpiración a través de las hojas (Salati 1987). La deforestación de la Amazonia podría reducir la precipitación total tan dramáticamente que la selva sería incapaz de reestablecerse por sí misma después de una destrucción completa (Shukla y colab. 1990). Las temperaturas extremas también son moderadas por los bosques, los que proporcionan sombra y superficies refrigerantes. Además también actúan de aislante, bloqueando los vientos desecantes de la estación cálida, y atrapando el calor al comportarse como un invernáculo local durante la estación fría.

Mitigación de las Inundaciones y Sequías

Una enorme cantidad de agua, cerca de 119.000 kilómetros cúbicos, cae anualmente sobre la superficie terrestre — suficiente para cubrir la superficie hasta una profundidad promedio de un metro (Shiklomanov 1993). Mucha de esta agua es absorbida por los suelos y luego entregada gradualmente a las raíces de las plantas o a los acuíferos y arroyos superficiales. De esta manera, el suelo retrasa la fuerte corriente de agua que de otro modo se produciría hacia afuera de la superficie terrestre causando inundaciones repentinas y violentas. Sin embargo, el suelo desnudo es vulnerable. Las plantas y su mantillo protegen el suelo de la fuerza destructiva de las gotas de lluvia y lo mantienen en su lugar. Cuando los paisajes son denudados, la lluvia compacta la superficie y convierte rápidamente el suelo en lodo (especialmente si se lo ha trabajado con el arado); el barro obstruye los poros superficiales del suelo, reduce la infiltración del agua y aumenta el escurrimiento, acentuando aún más la obstrucción. Las partículas de suelo desprendidas por salpicadura son arrastradas pendiente abajo con el agua de escurrimiento (Hillel 1991).

La erosión ocasiona costos no sólo en el sitio donde se pierde el suelo, sino también en los sistemas acuáticos naturales y artificiales, donde el material se acumula. Los costos locales de la erosión incluyen pérdidas de la producción potencial, disminución de la infiltración y de la disponibilidad de agua, y pérdidas de nutrientes. Los costos río abajo pueden incluir la alteración o disminución de la calidad del abastecimiento de agua; la obstrucción con sedimentos, lo que deteriora el drenaje y el mantenimiento de los canales de ríos navegables, los puertos y los sistemas de riego; aumento de la frecuencia y severidad de las inundaciones; y disminución del potencial hidroeléctrico



Fotografía de Catherine M. Pringle/Biological Photo Service

Figura 7--Boticaria de hierbas en Dali, Provincia Yunnan, China. Se estima que el 80 por ciento de la población mundial confía en productos medicinales naturales.



Figura 8--Principios del verano en Colorado Rockies. Estos bosques subalpinos atenúan inundaciones, sequías y temperaturas extremas; los bosques absorben la lluvia y el agua de deshielo y la reparten gradualmente a los arroyos y a la atmósfera, produciendo tormentas frías por la tarde.

en la medida en que los reservorios se llenan con sedimentos (Pimentel y colab. 1995). Mundialmente, el costo de reestablecer la capacidad perdida de los reservorios por la sedimentación se estima en U$S 6.000 millones por año.

Además de proteger el suelo de la erosión, la vegetación viva — con sus raíces profundas y la superficie evaporante de sus hojas — también funciona como una bomba gigante, restituyendo el agua caída a la atmósfera. Quitar la cobertura vegetal perjudica este eslabón del ciclo del agua e induce aumentos potencialmente grandes en el escurrimiento superficial, junto con la pérdida de suelo y nutrientes. Un ejemplo clásico surgió de la tala experimental del bosque de New Hampshire, donde se aplicaron herbicidas durante los 3 años posteriores al talado para prevenir el rebrote. El resultado fue un 40% de incremento en el flujo promedio del río. Durante un período de cuatro meses de experimento, el escurrimiento fue más de 5 veces mayor que antes de la tala (Bormann y colab. 1968). En una escala mucho mayor, la deforestación extensiva en la región montañosa del Himalaya parece haber intensificado las recientes inundaciones en Bangladesh, aunque no quedó claro cuál fue el papel relativo de las fuerzas humanas y de las fuerzas de la naturaleza (Ives y Messerli 1989). Además, algunas regiones del mundo, como algunas partes de África, están experimentando un aumento en la frecuencia y severidad de las sequías, posiblemente asociado con la deforestación extensiva.

Los humedales son particularmente conocidos por su papel en el control de las inundaciones y pueden reducir frecuentemente la necesidad de construir estructuras de control de inundaciones. Las planicies de inundación arboladas y las marismas salinas altas, por ejemplo, disminuyen el flujo del agua de inundación y permiten que los sedimentos se depositen en las tierras altas en vez de invadir bahías u océanos río abajo. Además, humedales aislados, como las pozas de las praderas del medio-oeste norteamericano y las lagunas de cipreses en el sudeste, sirven como áreas de captura durante las épocas de mucha lluvia, retrasando la saturación de los suelos de las mesetas y el flujo terrestre hacia los ríos, amortiguando así los picos de caudal. El mantenimiento de la integridad de estos humedales a través de la conservación de su vegetación, suelo, y su régimen hídrico natural puede reducir la severidad y la duración de las inundaciones a lo largo de los ríos (Ewel 1997). Haber conservado un área relativamente pequeña de humedal, por ejemplo, podría haber prevenido en gran parte la severa inundación de 1993 a lo largo del Río Mississippi.

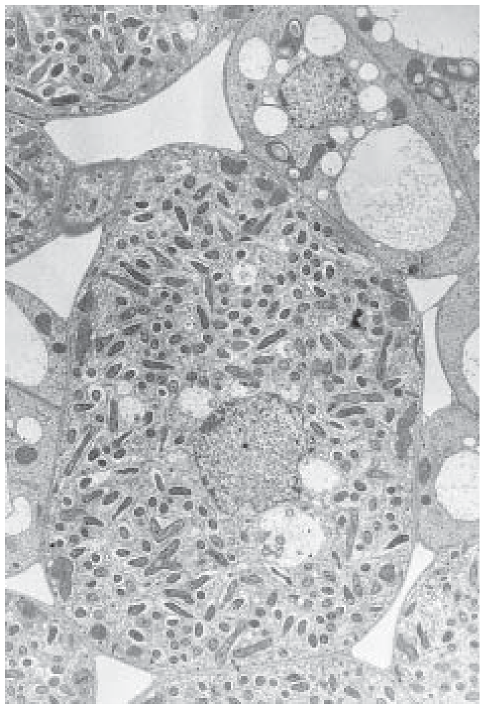
Servicios que Proporciona el Suelo

El suelo representa un componente importante de los bienes de una nación, uno que tarda de cientos a cientos de miles de años en desarrollarse y sin embargo muy pocos años en perderse. Algunas civilizaciones se han fortalecido en grande a partir de la tierra fértil; inversamente, se piensa que la pérdida de productividad debida a la mala administración ha llevado a muchas sociedades otrora florecientes a la ruina (Adams 1981). La degradación de la tierra inducida por las actividades humanas aqueja hoy a casi el 20 por ciento de la superficie vegetada de la Tierra (Oldeman y colab. 1990).

Además de moderar el ciclo de agua, como describimos anteriormente, el suelo proporciona otros cinco servicios interrelacionados (Daily y colab. 1997). Primero, el suelo alberga las semillas y les proporciona el soporte físico mientras germinan y maduran en plantas adultas. El costo de envasado y almacenamiento de las semillas y de fijación de las raíces de las plantas sería enorme sin el suelo. Los sistemas hidropónicos diseñados por el ser humano pueden hacer crecer las plantas en la ausencia de suelo, y su costo proporciona un límite inferior para ayudar a valorar este servicio. Los costos de las bandejas y estanterías usadas como soporte físico en tales operaciones totalizan alrededor de U$S 55.000 por hectárea (para la técnica "Nutrient Film Technique Systems"; FAO 1990).

Segundo, el suelo retiene y entrega nutrientes a las plantas. Las partículas de tierra diminutas (menos de 2 micrones de diámetro), principalmente pedacitos de humus y arcillas, llevan una carga eléctrica superficial que generalmente es negativa. Esta propiedad retiene los nutrientes cargados positivamente - los cationes como el calcio y el magnesio- cerca de la superficie, en la proximidad de las raíces de las plantas, permitiendo que sean absorbidos gradualmente. De otro modo estos nutrientes se lixiviarían lejos rápidamente. El suelo también actúa como amortiguador en la aplicación de fertilizantes, reteniendo los iones hasta que son requeridos por las plantas. Los sistemas hidropónicos proporcionan agua y nutrientes a las plantas sin la necesidad del suelo, pero el margen de error es mucho más pequeño — incluso pequeños excesos de nutrientes aplicados hidropónicamente pueden ser letales para las plantas. De hecho, regular las concentraciones de nutrientes, el pH y la salinidad de la solución nutritiva en los sistemas hidropónicos es una tarea compleja, así como regular la temperatura del aire y de la solución, la humedad, la luz y las plagas y enfermedades de las plantas. Mundialmente, el área bajo cultivo hidropónico es sólo unas pocas miles de hectáreas y es improbable que crezca significativamente en el futuro predecible; en contraste, el área global sembrada es de aproximadamente 1.400 millones de hectáreas (USDA 1993).

Tercero, el suelo juega un papel central en la descomposición de la materia orgánica muerta y los residuos, y este proceso de descomposición también vuelve inofensivos muchos patógenos humanos potenciales. La gente genera una tremenda cantidad de residuos, incluyendo basura doméstica, residuos industriales, residuos de la agricultura y silvicultura y desechos cloacales de sus propias poblaciones y las de sus miles de millones de animales domésticos. Una aproximación grosera de la cantidad de materia orgánica muerta y basura procesada cada año (mayoritariamente residuos agrícolas) es 130.000 millones de toneladas, de las cuales alrededor del 30 por ciento está asociado a las actividades humanas (Vitousek y colab. 1986). Afortunadamente, hay una amplia serie de organismos descomponedores — desde los buitres hasta las bacterias — que extraen energía de las moléculas orgánicas grandes y complejas que se encuentran en muchos tipos de basura. Como los obreros en una línea de montaje, las diversas especies microbianas procesan compuestos particulares, cuyos enlaces químicos son capaces de romper, y pasan a otras especies los productos finales de su reacción específica. Muchos residuos industriales, incluyendo jabones, detergentes, pesticidas, aceite, ácidos, y papel, son detoxificados y descompuestos por los organismos en los ecosistemas naturales si la concentración de los residuos no excede la capacidad del sistema para transformarlos. Algunos residuos modernos, sin embargo, son virtualmente indestructibles, como algunos plásticos y productos derivados de pesticidas, entre los cuales el DDT representa un caso clásico.



Fotografía de L. Evans Roth/Biological Photo Service

Figura 9--Bacteria (*Bradyrhizobium japonicum*) en una célula del nódulo de una raíz de soja, aumentada 3.550 veces. Estas bacterias fijan nitrógeno atmosférico, transformándolo en una forma directamente aprovechable por las plantas.

Los compuestos inorgánicos simples productos de la descomposición natural, vuelven eventualmente a las plantas como nutrientes. Así, la descomposición de los residuos y el reciclado de los nutrientes –el cuarto servicio que proporciona el suelo- son dos aspectos del mismo proceso. La fertilidad de los suelos — es decir su habilidad para proveer nutrientes a las plantas- es ampliamente el resultado de las actividades de diversas especies de bacterias, hongos, algas, crustáceos, ácaros, termitas, colémbolos, miriápodos y gusanos, jugando todos ellos, como grupos, papeles importantes. Algunas bacterias son responsables de “fijar” nitrógeno, un elemento clave de las proteínas, tomándolo de la atmósfera y convirtiéndolo en formas que pueden ser usadas por las plantas y, finalmente, por los seres humanos y otros animales. Algunos tipos de hongos juegan un papel extremadamente importante aportando nutrientes a muchos tipos de árboles. Los gusanos de tierra y las hormigas actúan como verdaderos mezcladores mecánicos, rompiendo y mezclando los materiales de plantas, microbios, y otros (Jenny 1980). Por ejemplo, unas 10 toneladas métricas de material del suelo pueden pasar a través de los cuerpos de los gusanos de tierra en una hectárea, cada año, produciendo “desechos” ricos en nutrientes que aumentan la estabilidad del suelo, la aireación y el drenaje (Lee 1985).

Finalmente, los suelos son un factor clave como reguladores de los ciclos de los principales elementos de la Tierra –los del carbono, nitrógeno y azufre. La cantidad de carbono y nitrógeno almacenada en los suelos hace que, por comparación, la contenida en la vegetación parezca diminuta. El carbono en el suelo es cerca del doble (1,8 veces) del que hay en el material vegetal, y el nitrógeno de los suelos es alrededor de 18 veces mayor (Schlesinger 1991). Las alteraciones de los ciclos de carbono y nitrógeno pueden ser muy costosas a largo plazo y, en muchos casos, irreversibles en una escala de tiempo de interés para la humanidad. Aumentos en el flujo de carbono hacia la

atmósfera, tales como los que ocurren cuando la tierra se convierte a la agricultura o cuando se drenan los humedales, contribuyen al aumento de las emisiones de gases con efecto invernadero a la atmósfera, especialmente dióxido de carbono y metano (Schlesinger 1991). Cambios en los flujos de nitrógeno causados por la producción y uso de fertilizantes, la quema de biomasa (madera y otras) y la tala en las regiones tropicales, provocan un aumento en las concentraciones atmosféricas de óxido nitroso, otro potente gas invernadero que además está involucrado en la destrucción de la capa de ozono estratosférico. Estos y otros cambios en el ciclo del nitrógeno también provocan lluvia ácida y entradas excesivas de nutrientes a los sistemas de agua dulce, a los estuarios y a las aguas de las costas marinas. Estas entradas causan eutroficación de los sistemas acuáticos y contaminación de las fuentes de agua potable — tanto las superficiales como las subterráneas — a través de los altos niveles de nitrógeno en forma de nitrato (Vitousek y colab. 1997).

Polinización

La mayoría de las plantas con flores necesitan de la polinización animal para tener una reproducción exitosa. Cerca de 220.000 de un total de 240.000 especies de plantas para las cuales la polinización fue registrada, necesitan un animal tal como una abeja o un colibrí para llevar a cabo ese proceso vital. Esto incluye plantas silvestres y cerca del 70 por ciento de las especies cultivadas que alimentan el mundo. Se conocen alrededor de 100.000 especies de animales diferentes — incluyendo murciélagos, abejas, escarabajos, aves, mariposas y moscas—que prestan el servicio gratuito de polinización que asegura la perpetuación de las plantas en nuestros cultivos, jardines, pastizales, praderas y bosques. A su vez, la disponibilidad contínua de estos polinizadores depende de la existencia de una amplia variedad de tipos de hábitat necesarios para su alimentación, procreación exitosa y cumplimiento de sus ciclos de vida (Nabhan y Buchmann 1997).



Fotografía de Peter J. Bryant/Biological Photo Service

Figura 10-- Abejorro de Sonora (*Bombus sonorus*) polinizando una flor.

Un tercio de la comida de la humanidad se deriva de las plantas polinizadas por polinizadores silvestres. Sin ese servicio, los rendimientos de importantes cultivos declinarían estrepitosamente, y muchas especies de plantas silvestres podrían extinguirse. En Estados Unidos solamente, el valor para la agricultura de los polinizadores silvestres nativos –aquellos que están sustentados por hábitat naturales adyacentes a los campos agrícolas — se estima en miles de millones de dólares por año. La polinización por la abeja mielera, originalmente importada de Europa, es extremadamente importante también, pero estas abejas están actualmente en declinación, lo que no hace sino aumentar la importancia de los polinizadores de los ecosistemas naturales. El manejo de la abeja mielera en el Nuevo Mundo está actualmente amenazado por el movimiento de (y la hibridación con) una cepa agresiva de abeja mielera africana que fue accidentalmente soltada en Brasil en 1956. Las enfermedades de las colonias de abeja mielera son también causa de una marcada disminución en el número de colonias manejadas. Entre tanto, la diversidad de polinizadores naturales disponibles para ambos tipos de plantas, silvestres y domésticas, está disminuyendo: más de 60 géneros de polinizadores incluyen especies ahora consideradas amenazadas, en peligro o extintas (Buchmann y Nabhan 1996).

Servicio de Control Natural de Plagas

Los competidores de la humanidad por comida, madera, algodón y otras fibras, se denominan plagas e incluyen numerosos insectos herbívoros, roedores, hongos, caracoles, nematodes y virus. Estas plagas destruyen entre un 25 y un 50 por ciento de la cosecha mundial de cultivos, tanto antes como después de cosechadas (Pimentel y colab. 1989). Además, numerosas malezas compiten directamente con los cultivos por agua, luz y nutrientes del suelo, limitando aún más los rendimientos.

Los pesticidas químicos y las estrategias a través de las cuales se aplican para combatir las plagas de los cultivos pueden tener consecuencias dañinas indeseadas. Primero, las plagas pueden desarrollar resistencia, lo cual significa que se deben aplicar dosis cada vez mayores de pesticidas, o que periódicamente se deben desarrollar nuevos compuestos químicos para alcanzar el mismo nivel de control. Se sabe que han desarrollado resistencia más de 500 plagas de insectos y ácaros, más de 100 malezas y alrededor de 150 patógenos de las plantas (WRI 1994). Segundo, debido al intenso uso de pesticidas, las poblaciones de los enemigos naturales de las plagas están siendo diezmadas. Los depredadores naturales son a menudo más susceptibles a los venenos sintéticos que lo que lo son las plagas, porque no han tenido la misma presión evolutiva de selección para evitar las sustancias químicas de las plantas. A esto se suma que los depredadores naturales tienen generalmente tamaños poblacionales mucho menores que los de sus presas. La destrucción de poblaciones de depredadores naturales lleva a una explosión en el número de presas, no sólo liberando las plagas que constituyen el blanco

de los controles naturales, sino a menudo "ascendiendo" otras especies que no eran plaga al estatus de plaga. En California en la década del 70, por ejemplo, 24 de las 25 plagas más importantes de la agricultura se habían transformado en plagas debido al uso exagerado de pesticidas (NRC 1989). Tercero, la exposición a los pesticidas y herbicidas puede presentar riesgos serios a la salud humana y a la de muchos otros tipos de organismos; los descubrimientos recientes de la disminución de la cantidad de esperma humano podrían deberse en parte a esa exposición (Colborn y colab. 1996).


Fotografía de Peter J. Bryant/Biological Photo Service

Figura 11--Larva de mariquita (*Cycloneda polita*) comiendo un áfido.

Afortunadamente, se estima que un 99 por ciento de las plagas potenciales de los cultivos están controladas por enemigos naturales, incluyendo muchas aves, arañas, moscas y avispas parásitas, chinches, hongos, enfermedades virales y un gran número de otros tipos de organismos (DeBach 1974). Estos agentes biológicos de control natural todavía ahorran a los campesinos miles de millones de dólares anualmente protegiendo los cultivos y reduciendo la necesidad de control químico (Naylor y Ehrlich 1997).

Dispersión de Semillas

Una vez que una semilla germina, la planta resultante queda arraigada en el lugar por el resto de su vida. Para las plantas, por lo tanto, moverse a nuevos sitios más allá de la sombra de sus padres normalmente se logra a través de la dispersión de semillas. Muchas semillas, tales como las de los conocidos "panaderos", son dispersadas por el viento. Algunas son dispersadas por el agua, como las del famoso coco de las islas oceánicas. Muchas otras especies han desarrollado evolutivamente vías que usan a los animales como agentes dispersores: sus semillas pueden estar empaquetadas en un fruto dulce que recompense al animal por su servicio de dispersión; algunas, incluso, requieren el pasaje a través del tracto digestivo de un ave o de un mamífero antes de que puedan germinar. Otras requieren ser enterradas — por un pájaro por ejemplo olvidadizo o una ardilla o ratón que luego deja su botín sin comer. Otras están equipadas con superficies espinosas, adhesivas, o ásperas, diseñadas para engancharse a un animal que pase y andar por un largo trecho antes de caer al ser despegadas. Sin esas miles de especies de animales actuando como agentes dispersores de semillas, muchas plantas no podrían reproducirse satisfactoriamente. Por ejemplo el pino de corteza blanca (*Pinus albicaulis*), un árbol que se encuentra en las montañas Rocallosas y Cascade y en la Sierra Nevada, no se puede reproducir satisfactoriamente sin un pájaro llamado cascanueces de Clark (*Nucifraga columbiana*), el que con su pico cincela los conos fuertemente cerrados del pino y dispersa y entierra las semillas; sin ese servicio, los conos no se abrirían lo suficiente para permitir que las semillas caigan por sí solas. La dispersión de semillas por animales también juega un papel central en la estructura y regeneración de muchos otros bosques de pinos (Lanner 1996). La alteración de este complejo servicio podría dejar extensas áreas de bosques desprovistas de semillas y de grupos de árboles jóvenes, y por lo tanto imposibilitado para recuperarse rápidamente de impactos antrópicos como la tala.

Belleza Estética y Estímulo Intelectual y Espiritual

Muchas personas sienten un aprecio profundo por los ecosistemas naturales y por lo menos algunas de las especies que los componen. Esto es evidente en el arte, en las religiones y en las tradiciones de diversas culturas, así como en actividades tales como la jardinería y el cuidado de mascotas, la fotografía de la naturaleza y la cinematografía, la alimentación y observación de aves, el camping y la excursión, el ecoturismo y el montañismo, el *rafting* y los paseos en bote por los ríos, la caza y la pesca, y en un amplio rango de otras actividades. Para muchos, la naturaleza es una fuente inigualable de admiración e inspiración, paz y belleza, satisfacción y rejuvenecimiento (véase, por ejemplo, Kellert y Wilson 1993).

AMENAZAS A LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

Los servicios de los ecosistemas están siendo deteriorados y destruidos por una amplia variedad de actividades humanas. Entre las amenazas principales inmediatas están la continua destrucción del hábitat natural y la invasión de especies exóticas que a menudo acompañan dicha alteración; en los sistemas marinos, el exceso de pesca es la mayor amenaza. Pero el impacto más irreversible sobre los ecosistemas es la pérdida de la biodiversidad nativa. Una estimación conservadora de la tasa de pérdida de especies es cercana a una por hora, que desafortunadamente excede la tasa de evolución de nuevas especies en un factor de 10.000 ó más (Wilson 1989; Lawton y May 1995). Pero la extinción completa de las especies es solamente el acto final en el proceso. La tasa de pérdida de poblaciones locales de especies — las poblaciones que generan los servicios de los ecosistemas en localidades y regiones específicas — es órdenes de magnitud más alta (Daily y Ehrlich 1995; Hughes y colab., en prep.). Al destruir otras formas de vida también se altera la red de interacciones que podría ayudarnos a

descubrir la utilidad potencial de plantas y animales específicos (Thompson 1994). Una vez que un depredador de un insecto o un polinizador está al borde de la extinción, por ejemplo, podría ser muy difícil descubrir sus potenciales usos en la agricultura.

Otras amenazas inminentes incluyen la alteración de los ciclos globales del carbono, nitrógeno y otros ciclos biogeoquímicos a través de la quema de combustibles fósiles y del uso intensivo de fertilizantes nitrogenados; la degradación de las tierras de cultivo a través de prácticas agrícolas no-sustentables; el derroche de los recursos de agua dulce; la contaminación de tierras y cursos de agua; y la sobreexplotación de pesquerías, bosques y otros sistemas teóricamente renovables.

Estas amenazas a los servicios de los ecosistemas están dirigidas, en última instancia, por dos fuerzas subyacentes de gran extensión. Una es el crecimiento rápido, insostenible en la escala de las actividades humanas de: el tamaño de la población, el consumo per cápita y también del impacto ambiental que las tecnologías y las instituciones generan cuando producen y proporcionan esos bienes de consumo (Ehrlich y colab. 1977). La otra fuerza subyacente es el conflicto frecuente entre los incentivos económicos individuales a corto plazo, y el bienestar social a largo plazo. Generalmente se subestiman enormemente los servicios de los ecosistemas por varias razones: muchos no se comercializan ni cotizan en el mercado; muchos sirven al bien público más que beneficiar directamente a los propietarios individuales; los dueños de la propiedad privada a menudo no tienen forma de beneficiarse económicamente de los servicios que el ecosistema brinda a la sociedad a través de su tierra; y, de hecho, los subsidios económicos estimulan frecuentemente la conversión de sus tierras a actividades cotizadas en el mercado. Así, la gente cuya actividad altera los servicios de los ecosistemas a menudo no paga directamente por el costo de la pérdida de esos servicios. Es más, la sociedad no compensa a los hacendados y otros que salvaguardan los servicios de los ecosistemas por los beneficios económicos que ellos pierden al no proceder de modo más lucrativo pero con usos destructivos de la tierra. Resulta crítico encontrar medidas políticas que actúen sobre estas fuertes tendencias, y que impongan el valor de los servicios de los ecosistemas en el marco de la toma de decisiones.

VALORACION DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

En ausencia de los servicios de los ecosistemas la sociedad humana dejaría de existir. Por ello, el valor que tienen para la humanidad es inmenso e incuestionable. Sin embargo, cuantificar el valor de los servicios de los ecosistemas en situaciones específicas, y evaluarlo en comparación con los de los usos alternativos de la tierra no es tarea fácil. Cuando deben buscarse soluciones de compromiso sobre la asignación de la tierra y de otros recursos necesarios para las actividades humanas, la resolución requiere a menudo una medida de lo que se conoce como valor marginal. En el caso de los servicios de los ecosistemas, por ejemplo, la pregunta que podría proponerse sería: ¿En cuánto aumentaría (o disminuiría) el flujo de los servicios de los ecosistemas con la preservación (o destrucción) de la próxima hectárea de bosque o humedal? La estimación de los valores marginales es compleja (Bawa y Gadgil 1997; Daily 1997b). A menudo una comparación cualitativa de valores relativos es suficiente (por ejemplo ¿qué beneficio es mayor, el beneficio económico de un proyecto de desarrollo particular, o los beneficios proporcionados por el ecosistema que se destruiría?). Esto debe evaluarse para un período relevante para las personas preocupadas por el bienestar de sus nietos.

Hay muchos casos, y los seguirá habiendo, en los que los valores de los servicios de los ecosistemas son muy inciertos. Sin embargo, la velocidad de destrucción de los ecosistemas naturales, y la irreversibilidad de la mayor parte de tal destrucción en una escala de tiempo de interés para la humanidad, justifican una cautela sustancial. Valorar un



Fotografía de Gretchen C. Daily

Figura 12--Los bienes y servicios que proporcionaba esta región seriamente deforestada y erosionada de Madagascar se perdieron y será muy difícil restaurarlos.

ecosistema natural, como valorar una vida humana, está cargado de dificultades. Así como las sociedades han reconocido derechos humanos fundamentales, tal vez, puede ser prudente establecer protecciones fundamentales de los ecosistemas a pesar de que la incertidumbre sobre los valores económicos persista. Para impulsar una participación justa en tal sentido se necesitarán nuevas instituciones y acuerdos a nivel nacional e internacional (véase, por ejemplo, Heal 1994).

El tremendo gasto y la dificultad de reproducir los servicios de los ecosistemas perdidos son ilustrados, quizás de la mejor manera, por los resultados de la "misión Biósfera 2" — en la que ocho personas vivieron durante dos años dentro de un ecosistema cerrado de 1,28 hectáreas. El sistema incluyó tierra de cultivo agrícola y réplicas de varios ecosistemas naturales como bosques, e incluso un océano en miniatura. A pesar de una inversión de más de U$S 200 millones en el diseño, construcción y operación de este modelo de Tierra, se puso de manifiesto que era imposible proporcionar las necesidades materiales y físicas de los ocho "biosferinautas" durante los 2 años programados. Surgieron muchos problemas desagradables e inesperados, incluso una disminución en la concentración de oxígeno atmosférico a 14% (nivel encontrado normalmente a una altura de 5.000 metros), picos elevados en las concentraciones de dióxido de carbono, concentraciones de óxido nitroso suficientemente altas como para dañar el cerebro, un nivel sumamente alto de extinciones (incluyendo 19 de 25 especies de vertebrados y todos los polinizadores llevados al encierro, lo que habría asegurado también la extinción eventual de la mayoría de las especies de plantas), el crecimiento excesivo de enredaderas y colchones de algas, y explosiones de una población de hormigas, cucarachas y cigarras. Incluso los heroicos esfuerzos personales por parte de los biosferinautas, no bastaron para hacer el sistema viable y sustentable, ni para los humanos ni para muchas de las otras especies (Cohen y Tilman 1996).



Figura 13--La fabricación de esta comida se beneficia de muchos servicios de los ecosistemas, incluyendo control natural de plagas, polinización, mantenimiento de la fertilidad del suelo, purificación del agua y moderación del clima.

PRINCIPALES INCERTIDUMBRES

La sociedad podría ganar mucho con la investigación en algunas de las preguntas generales siguientes, y así podríamos evitar que en la Biosfera 1, la Tierra, ocurran desagradables sorpresas como las que plagaron el proyecto Biósfera 2 (Holdren 1991; Cohen y Tilman 1996; Daily 1997b):

- ¿Cuál es el impacto relativo de las actividades humanas en el suministro de los servicios de los ecosistemas?
- ¿Cuál es la relación entre la condición de un ecosistema — desde relativamente prístino hasta fuertemente modificado — y la cantidad y calidad de los servicios que el ecosistema proporciona?
- ¿Hasta qué punto los servicios de los ecosistemas dependen de la biodiversidad en todos los niveles, desde los genes, a las especies, hasta el paisaje?
- ¿Hasta qué punto se han dañado ya varios servicios de los ecosistemas? Y ¿cómo se distribuyen el deterioro, y el riesgo de deterioro futuro, en las diversas regiones del globo?
- ¿Cuán interdependientes son los diferentes servicios de los ecosistemas? ¿Cómo influye la explotación o el daño de uno en el funcionamiento de los otros?
- ¿Hasta qué punto, y a través de qué escala de tiempo, es factible la reparación o restauración de los servicios de los ecosistemas?
- ¿Cuán efectivamente, y a qué escala, las tecnologías humanas existentes o previsibles pueden sustituir los servicios de los ecosistemas? ¿Cuáles serían los efectos secundarios de tales sustituciones?
- Dado el estado actual de la tecnología y la escala de las actividades humanas ¿qué proporción, y en qué diseño espacial, la superficie terrestre debe permanecer relativamente inalterada — local, regional, y globalmente — para sostener la prestación de los servicios de los ecosistemas esenciales?

CONCLUSIONES

La economía humana depende de muchos servicios realizados "gratuitamente" por los ecosistemas, que en verdad valen muchos billones de dólares anuales. El desarrollo económico que destruye los habitats y daña los servicios, puede crear costos a la humanidad a largo plazo que pueden exceder ampliamente los beneficios del desarrollo económico a corto plazo. Estos costos están generalmente ocultos en la contabilidad económica tradicional, pero son no obstante reales y generalmente están, de hecho, solventados por la sociedad. De un modo trágico, un enfoque a corto plazo en las decisiones sobre el uso de la tierra traslada a las generaciones futuras costos potencialmente mayores. Esto sugiere una necesidad de políticas que logren un equilibrio entre mantener los servicios de los ecosistemas y perseguir los lógicos objetivos de desarrollo económico a corto plazo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las fundaciones "Packard Foundation" y "Pew Foundation" por el financiamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, R. McC. 1981. Heartland of Cities: Surveys of Ancient Settlement and Land Use on the Central Floodplain of the Euphrates, Chicago: University of Chicago Press.

Alexander, S., S. Schneider, y K. Lagerquist. 1997. Ecosystem services: Interaction of Climate and Life. Páginas 71-92 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Allegre, C. y S. Schneider. 1994. The evolution of the earth. Scientific American 271: 44-51.

Bawa, K. y M. Gadgil. 1997. Ecosystem services, subsistence economies and conservation of biodiversity. Páginas 295-310 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Bormann, F., G. Likens, D. Fisher, y R. Pierce. 1968. Nutrient loss accelerated by clear-cutting of a forest ecosystem. Science 159: 882-884.

Buchmann, S.L. y G.P. Nabhan. 1996. The Forgotten Pollinators. Island Press, Washington, D.C.

Chanway, C. 1993. Biodiversity at risk: soil microflora. Páginas 229-238 en M. A. Fenger, E. H. Miller, J. A. Johnson, y E. J. R. Williams, editores. Our Living Legacy: Proceedings of a Symposium on Biological Diversity. Royal British Co
lumbia Museum, Victoria, Canada.

Cohen, J.E. y D. Tilman. 1996. Biosphere 2 and biodiversity: The lessons so far. Science 274: 1150-1151.

Colborn, T., D. Dumanoski, y J. P. Myers. 1996. Our Stolen Future. Dutton, New York.

Daily, G.C. 1997a. Introduction: What are ecosystem services? Páginas 1-10 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Daily, G.C. 1997b. Valuing and safeguarding Earth's life support systems. Páginas 365-374 en G. Daily, editor. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island
Press, Washington, D.C.

Daily, G.C., P.A. Matson, y P.M. Vitousek. 1997. Ecosystem services supplied by soil. Páginas 113-132 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Daily, G.C. y P.R. Ehrlich. 1995. Population diversity and the biodiversity crisis. Pp. 41-51 en C. Perrings, K.G. Maler, C. Folke, C.S. Holling y B.O. Jansson (eds.), Biodiversity Conservation: Problems and Policies, Dordrecht, Kluwer Academic Press.

DeBach, P. 1974. Biological Control by Natural Enemies. Cambridge University Press, London.

Diamond, J. 1991. The Rise and Fall of the Third Chimpanzee. Radius, London. Dobson, A. 1995. Biodiversity and human health. Trends in Ecology and Evolution 10: 390-391.

Dowling, H.F. 1977. Fighting Infection. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.

Ehrlich, P.R. y A.H. Ehrlich. 1981. Extinction. Ballantine, New York.

Ehrlich, P.R., A.H. Ehrlich, y J.P. Holdren. 1977. Ecoscience: Population, Resources, Environment. Freeman and Co., San Francisco.

Ewel, K. 1997. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service. Páginas 329-344 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Farnsworth, N.R., O. Akerele, A.S. Bingel, D.D. Soejarto, y Z.-G. Guo. 1985. Medicinal plants in therapy. Bulletin of the World Health Organization 63: 965-981.

Felder, A. J. y D. M. Nickum. 1992. The 1991 economic impact of sport fishing in the United States. American Sportfishing Association, Alexandria, Virginia.

FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 1990. Soilless Culture for Horticultural Crop Production. Rome: FAO. Grifo, F. y J. Rosenthal, editores. 1997. Biodiversity and Human Health. Island Press, Washington, D.C.

FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 1993. Marine Fisheries and the Law of the Sea: A Decade of Change. Fisheries Circular No.853, Rome.

FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 1994. FAO Yearbook of Fishery Statistics. Volume 17.

Hall, D.O., F. Rosillo-Calle, R.H. Williams, y J. Woods. 1993. Biomass for energy: supply prospects. Páginas 593-651 en T. Johansson, H. Kelly, A. Reddy, y R. Williams, editores. Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Island Press, Washington, D.C.

Heal, G. 1994. Formation of international environmental agreements. Páginas 301-332 en C. Carraro, editor, Trade, Innovation, Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Hillel, D. 1991. Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil. The Free Press, New York.

Holdren, J. P. 1991. "Report of the planning meeting on ecological effects of human activities." National Research Council, 11-12 October, Irvine, California, mimeo.

Holdren, J.P. y P.R. Ehrlich. 1974. Human population and the global environment. American Scientist 62: 282-292.

Hughes, J.B., G.C. Daily, y P.R. Ehrlich. En prep. The importance, extent, and extinction rate of global population diversity.

Ives, J. y B. Messerli. 1989. The Himalayan Dilemma: Reconciling Development andy Conservation, London: Routledge.

Jenny, H. 1980. The Soil Resource. Springer-Verlag, New York.

Kaufman, L. y P. Dayton. 1997. Impacts of marine resource extraction on ecosystem services and sustainability. Páginas 275-293 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Kellert, S.R. y E.O. Wilson, editores. 1993. The Biophilia Hypothesis. Island Press, Washington, D.C.

Lanner, R.M. 1996. Made for Eachother: A Symbiosis of Birds and Pines. Oxford University Press, New York.

Lawton, J. y R. May, editores. 1995. Extinction Rates. Oxford University Press, Oxford.

Lee, K. 1985. Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press, New York.

Leung, A.Y. y S. Foster. 1996. Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used in Food, Drugs, and Cosmetics. John Wiley & Sons, Inc., New York.

McCormick, K.D., M.A. Deyrup, E.S. Menges, S.R. Wallace, J. Meinwald, y T. Eisner. 1993. Relevance of chemistry to conservation of isolated populations: the case of volatile leaf components of Dicerandra mints. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 90: 7701-7705.

Myers, N. 1983. A Wealth of Wild Species. Westview Press, Boulder, CO. Myers, N. 1997. The worlds forests and their ecosystem services. Páginas 215-235 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Nabhan, G.P. y S.L. Buchmann. 1997. Pollination services: Biodiversity's direct link to world food stability. Páginas 133-150 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

National Research Council (NRC). 1989. Alternative Agriculture. National Academy Press, Washington, D.C.

National Research Council (NRC). 1992. Managing Global Genetic Resources: The U.S. National Plant Germplasm System. National Academy Press, Washington, D.C.

Naylor, R. y P. Ehrlich. The value of natural pest control services in agriculture. Páginas 151-174 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Oldeman, L., V. van Engelen, y J. Pulles. 1990. "The extent of human-induced soil degradation, Annex 5" of L. R.

Oldeman, R. T. A. Hakkeling, y W. G. Sombroek, World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note, rev. 2d ed. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.

Overgaard-Nielsen, C. 1955. Studies on enchytraeidae 2: Field studies. Natura Jutlandica 4: 5-58.

Peterson, C.H. y J. Lubchenco. 1997. On the value of marine ecosystem services to society. Páginas 177-194 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, y R. Blair. 1995. "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits." Science 267: 1117-1123.

Pimentel, D., L. McLaughlin, A. Zepp, B. Lakitan, T. Kraus, P. Kleinman, F. Vancini, W. Roach, E. Graap, W. Keeton, y G. Selig. 1989. Environmental and economic impacts of reducing U.S. agricultural pesticide use. Handbook of Pest Management in Agriculture 4: 223-278.

Postel, S. y S. Carpenter. 1997. Freshwater ecosystem services. Páginas 195-214 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Prescott-Allen, R. y C. Prescott-Allen. 1990. How many plants feed the world? Conservation Biology 4: 365-374.

Principe, P.P. 1989. The economic significance of plants and their constituents as drugs. Páginas 1-17 en H. Wagner, H. Hikino, y N.R. Farnsworth, editores. Economic and Medicinal Plant Research, Vol. 3, Academic Press, London.

Reid, W.V., S.A. Laird, C.A. Meyer, R. Gamez, A. Sittenfeld, D. Janzen, M. Gollin, y C. Juma. 1996. Biodiversity prospecting. Páginas 142-173 en M. Balick, E. Elisabetsky, y S. Laird, editores. Medicinal Resources of the Tropical Forest: Biodiversity and Its Importance to Human Health. Columbia Univ. Press, New York.

Rouatt, J. y H. Katznelson.1961. A study of bacteria on the root surface and in the rhizosphere soil of crop plants. J. Applied Bacteriology 24: 164-171.

Sala, O.E. y J.M. Paruelo. 1997. Ecosystem services in grasslands. Páginas 237-252 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Salati, E. 1987. The forest and the hydrological cycle. Páginas 273-294 en R. Dickinson, editor. The Geophysiology of Amazonia. John Wiley and Sons, New York.

Schlesinger, W. 1991. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. Academic Press, San Diego.

Schneider, S. y P. Boston, editores. 1991. Scientists on Gaia. MIT Press, Boston.

Schneider, S. y R. Londer. 1984. The Coevolution of Climate and Life. Sierra Club Books, San Francisco.

Shiklomanov, I.A. 1993. World fresh water resources. Pp. 13-24 en P. Gleick, editor. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, New York.

Shukla, J., C. Nobre, y P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. Science. 247: 1322-1325.

Tilman, D. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning. Páginas 93-112 en G. Daily, editor. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Thompson, J.N. 1994. The Coevolutionary Process. Chicago Univ. Press, Chicago.

USDA (United States Department of Agriculture). 1993. World Agriculture: Trends and Indicators, 1970-91. Washington, DC.

Vitousek, P., P. Ehrlich, A. Ehrlich, y P. Matson. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. BioScience 36: 368-373.

Vitousek, P., J. Aber, R. Howarth, G. Likens, P. Matson, D. Schindler, W. Schlesinger, y D. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. Issues in Ecology I.

Wilson, E.O. 1987. The little things that run the world: The importance and conservation of invertebrates. Conservation Biology 1: 344-346.

Wilson, E.O. 1989. Threats to biodiversity. Scientific American Sept: 108-116.

World Bank. 1991. Agricultural Biotechnology: The Next Green Revolution? World Bank Technical Paper no. 133. Washington, D.C.

World Resources Institute (WRI). 1994. World Resources: A Guide to the Global Environment. Oxford University Press, Oxford.

PARA MÁS INFORMACIÓN

Acerca del Panel de Científicos

Este informe presenta el consenso alcanzado por un panel de 11 científicos que representan una amplia variedad de juicios expertos en esta área. Este informe fue sometido a revisión por pares y fue aprobado por el Comité Editorial de *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología). Las instituciones de pertenencia de los miembros del panel de científicos son:

Dr. Gretchen C. Daily, Directora del Panel, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305

Dr. Susan Alexander, Earth Systems Science and Policy, California State University, Monterey Bay, 100 Campus Center, Seaside, CA 93955

Dr. Paul R. Ehrlich, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305

Dr. Larry Goulder, Department of Economics, Stanford University, Stanford, CA 94305

Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331

Dr. Pamela A. Matson, Environmental Science Policy and Management, University of California, Berkeley, CA 94720

Dr. Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305

Dr. Sandra Postel, Global Water Policy Project, 107 Larkspur Drive, Amherst, MA 01002

Dr. Stephen H. Schneider, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305

Dr. David Tilman, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108

Dr. George M. Woodwell, Woods Hole Research Center, P.O. Box 296, Woods Hole, MA 02543

Mucha de la información vertida en este informe proviene de G. Daily, editor. 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.

Acerca de la Periodista Científica

Yvonne Baskin, periodista científica, editó el informe del panel de científicos para permitir que el mismo comunicara de un modo efectivo sus conclusiones al público no científico.

Acerca de los Issues in Ecology (Tópicos en Ecología)

Los *Issues in Ecology* se diseñaron para comunicar, en un lenguaje comprensible para un público no científico, el consenso de un panel de científicos expertos en temas relevantes para el medio ambiente. Todos los informes se someten a revisión por pares y deben ser aprobados por el Comité Editorial antes de su publicación.

Comité Editorial de Issues in Ecology

Dr. David Tilman, Jefe de Editores, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097. E-mail: tilman@lter.umn.edu

Miembros del Comité (1997)

Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706

Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209

Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1003

Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-2914

Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, GA 30602-2202

Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195

Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532

Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708-0340

Traducción al castellano:

María Laura Yahdjian
IFFEVA - Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires
Av San Martín 4453 , Buenos Aires C1417DSE , Argentina
Revisor de la traducción: Roberto Fernández

Copias adicionales

Para recibir copias adicionales de este informe o de *Issues in Ecology* anteriores, por favor contactar a:

Ecological Society of America
1707 H Street, NW
Suite 400
Washington, DC 20006
esahq@esa.org
(202) 833-8773

esa

La serie *Issues in Ecology* está también disponible electrónicamente en **http://www.esa.org/sbi/sbi_issues/**

Agradecimientos especiales a la "U.S. Environmental Protection Agency Office of Sustainable Ecosystems and Communities" por financiar la impresión y distribución del documento original.

Fotos de la Portada: en sentido horario, desde arriba a la izquierda, cortesía de: Nadine Lymn, Nadine Lymn, Nadine Lymn, Claude Cavendar Jr., Nadine Lymn, desconocido, Claude Cavendar Jr., y desconocido